

**С.И. БУХКАЛО**, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,  
**С.Е. ГАРДЕР**, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»,  
**О.Ю. ХИМИЧ**, студентка, НТУ «ХПИ»,  
**К.И. СТАВРОВА**, студентка, НТУ «ХПИ»,  
**А.С. КАБАНЕЦ**, студент, НТУ «ХПИ»,  
**А.Н. МИРОНОВ**, студент, НТУ «ХПИ»,  
**А.А. БОРХОВИЧ**, студент, НТУ «ХПИ»,  
**Д.И. ШУЛЬГА**, аспирант, НАУ ХАИ

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ КОМПЛЕКСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ**

В статті пропонуються методи оцінки ефективності утворення комплексних підприємств з використанням науково-обґрунтованих методів переробки відходів різного походження за допомогою сучасних методів обробки даних, здобутих у результаті проведення експерименту з утилізації полімерних відходів

В статье предлагаются методы оценки эффективности работы комплексных предприятий, использующих научно-обоснованные методы переработки отходов разного происхождения с помощью современных методов обработки экспериментальных данных по утилизации полимерных отходов

The method are proposed for estimation of processing efficiency of complex industrial sites that use scientific grounded up-to-date methods of different wastes treatment based on results of experimental investigations

**Постановка проблемы.** На кафедре «Интегрированных технологий, процессов и аппаратов» НТУ «ХПИ» с 2009 г. проводится комплексное студенческое проектирование с целью создания инновационных энерго-сберегающих предприятий промышленности. Применения математического моделирования в технологиях ресурсо- и энергосбережения, в частности, утилизации полимерных отходов пригодных к повторному использованию, является одной из составляющих таких проектов. В условиях дефицита сырья и энергоносителей полимерные отходы становятся мощным энергетическим и сырьевым ресурсом, а использование полимерных отходов позволяет экономить первичное сырье, куда, прежде всего, следует отнести электроэнергию и нефть. В основном полимерные

отходы уничтожаются путем сжигания или захоронения в почву, но такие методы являются технически сложными и экономически нецелесообразными.

**Анализ последних исследований и публикаций.** При разработке инновационных проектов химикам-технологам практически всех специальностей приходится применять компьютерное моделирование [1, 2]. Результат любого эксперимента и выводы, которые из него можно сделать, зависят в большой степени от того, каким образом собираются данные. Если мы хотим провести эксперимент наиболее эффективно, то необходим научный подход к его планированию. Под статистическим планированием эксперимента понимается такая организация экспериментального исследования, которая позволит собрать необходимые статистические данные для наиболее обширного изучения явления, применить для их анализа статистические методы, сделать правильные и объективные выводы об исследуемом процессе и построить его математическую модель [3]. При оперативном управлении инновационными предприятиями компьютерное моделирование позволяет решать задачи:

- АСУТП с целью определения оптимальных параметров составляющих всех уровней предприятия;
- АСУП с целью расчета технико-экономических показателей процессов, необходимых для принятия правильных управленческих решений;
- Организации эффективного обмена информацией между уровнями АСУТП и АСУП с целью организации оптимального управления всем предприятием в целом и др.

Развитие индустрии аппаратных средств и программного обеспечения требует постоянной модернизации методологии компьютерного моделирования химико-технологических объектов [1].

**Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.** Комплексные предприятия по утилизации отходов различного происхождения, а также использование фактически полностью отходов и выбросов всех составляющих собственного производственного комплекса и других предприятий, является основной целью проводимых нами работ.

В дальнейшем при проведении экспериментальных исследований на инновационных объектах необходимо решить три основные задачи, а

именно: 1) как проводить эксперимент, чтобы количество опытов было минимальным, а результаты достаточно полно характеризовали изучаемый процесс; 2) как оценить точность и достоверность полученных экспериментальных данных; 3) как на основе полученных результатов построить математическую модель исследуемого явления.

**Формулировка целей статьи.** В решении вышеуказанных нерешенных задач помогает математическая дисциплина получившая название планирование эксперимента. Планирование эксперимента – это процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью. При этом существенно следующее: стремление к минимизации общего числа опытов; одновременное варьирование всеми переменными, определяющими процесс по специальным правилам, алгоритмам; использование математического аппарата, формализующего действия экспериментатора; выбор четкой стратегии, позволяющей принимать обоснованные решения после каждой серии опытов.

Основной целью исследований являлось изучение влияния технологических параметров и концентрации модифицирующих добавок на физико-химические и физико-механические характеристики изделий модифицированных вторичных полимеров методами математического моделирования.

**Изложение основного материала исследований.** Разработка инновационного студенческого проекта была поручена нескольким подразделениям виртуального предприятия:

- технологическое – выбор инновационных технологий с учетом специфического направления завода и вида вторичных энергетических ресурсов, а также разработка метода оптимизации производства;
- информационно-аналитического обеспечения – обработка полученных результатов эксперимента, математическое моделирование технологических стадий проекта и их графическая интерпретация;
- организационно-экономическое – анализ рынка сырья и продукции с целью привлечения инвестирования в реализацию проекта, выбора типа производства и создания конкурентоспособного предприятия;
- экологически-правовое – обеспечение безопасности инновационного объекта в соответствии с нормативно-правовой базой.

Следует отметить, что объект исследования может иметь несколько переменных состояния, которые следует сократить до минимума (изменить формулировку цели исследования). Если переменных состояния несколько, то эксперимент проводится по каждой из них, а затем решается компромиссная задача. При выборе переменной состояния нужно учитывать следующие требования:

- 1) переменная состояния должна иметь количественную характеристику, т.е. измеряться;
- 2) переменная состояния должна однозначно измерять эффективность объекта исследования;
- 3) переменная состояния должна быть статистически эффективна, то есть иметь меньшую дисперсию при проведении опытов.

При выборе факторов, нужно выполнять требования:

- 1) фактор должен быть регулируемым;
- 2) точность измерения и управления должна быть известна и достаточно высока.

К факторам и переменным состояния одновременно предъявляют требования: 1) они должны иметь области определения, заданные технологическими ограничениями; 2) между факторами и переменными состояниями должно существовать однозначное соответствие. Значительный интерес, с точки зрения расширения ассортимента и областей применения вторичного полиэтилена, представляют исследования технологии получения вспененного вторичного полиэтилена (ППЭ) и изделий из него (рисунок).

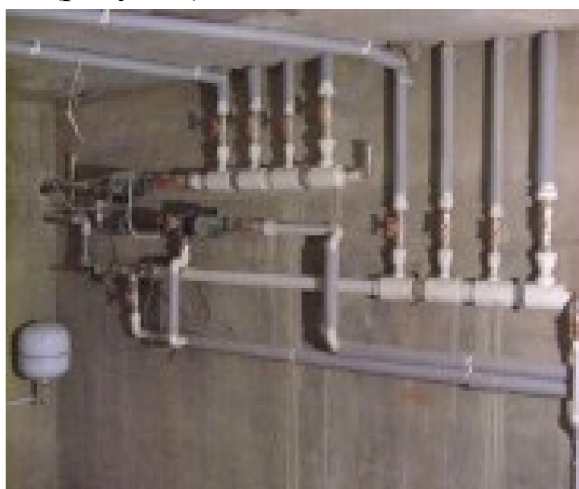


Рис. Виды изделий из ППЭ: трубная изоляция и звукоизоляционные ленты

Вспенивание вторичного полиэтилена позволит расширить сферы его применения, так как в настоящее время это, в основном, изготовление различной внешней тары, некоторых видов кабелей и деталей строительных конструкций.

Для получения пенополиэтилена был выбран активирующий вспенивающий комплекс. В проекте были проведены исследования по оптимизации методами математического моделирования процесса вспенивания вторичного полиэтилена согласно полному факторному эксперименту линейного и степенного видов. Полученная нами линейная модель адекватно описывает процесс модификации свойств вторичного полиэтилена. После обработки результатов ПФЭ получено уравнение регрессии. Так как факторы  $X_1, X_2, X_3$  входят в уравнение в кодированном виде, то, пользуясь формулами перевода величин в натуральный масштаб, преобразуем это выражение к следующему виду:

$$y = -6,93675 + 3,53425 \cdot x_1 + 0,0422 \cdot x_2 - 0,16535 \cdot x_3 - \\ - 0,0207 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,00155 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,001 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Тем не менее, для математического описания рассматриваемой модели процесса вспенивания вторичного полиэтилена целесообразно использовать именно степенную функцию, поскольку, согласно нашим вычислениям, она даёт погрешность в 2,5 раза меньшую, нежели линейная. Общий вид уравнения регрессии для степенной функции представляется следующим образом:

$$y = b_0 \cdot x_1^{b_1} \cdot x_2^{b_2} \cdot x_3^{b_3}$$

Пользуясь известными значениями  $b_i$ , преобразуем выражение для степенной функции следующим образом:

$$y = -6,93675 \cdot X_1^{3,53425} \cdot X_2^{0,0422} \cdot X_3^{-0,16535}$$

**Выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления.** Таким образом, мы выбрали оптимальное число проведения опытов, необходимых и достаточных для ре-

шения поставленной задачи с требуемой точностью, учтя при этом следующее:

- обеспечили минимизацию общего числа опытов;
- использовали одновременное варьирование всеми переменными, определяющими процесс согласно специальным алгоритмам;
- максимально задействовали математический аппарат, по сути формализующий наши действия в качестве экспериментаторов;
- выбрали чёткую стратегию, позволяющую принимать обоснованные решения после каждой серии опытов.

Анализ ситуации, к сожалению, пока в виртуальной отрасли утилизации различного вида отходов (ее еще необходимо создать) показывает потенциальную возможность повышения эффективности их использования с точки зрения ресурсо- и энергосбережения путем создания производственных комплексов.

Наиболее перспективным с точки зрения ресурсосбережения является направление получения вторичных полимеров на комплексных предприятиях с привлечением методов математического моделирования для оптимизации процессов. Это позволит расширить сырьевую базу для производства изделий и повысить эффективность использования сырья на основе изучения свойств отходов различного происхождения, их состава, возможности организованного сбора и направленной модификации.

**Список литературы:** 1. Гартман Т.Н., Клушин Д.В. Основы комп'ютерного моделирования химико-технологических процессов : Учеб. Пособие для вузов / Т.Н. Гартман, Д.В. Клушин. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2008. – 416 с. 2. Бухкало С.И. К вопросу энергосбережения процесса агломерирования полимерной упаковки // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2005. – № 2. – С. 29. 2. Бухкало С.И., Ольховская О.И., Борхович А.А. Оценка качества вторичных полимеров с помощью математической модели // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2008. – № 2. – С. 51. 3. Бухкало С.И. Изменение свойств в процессе эксплуатации пленки и направленной модификация вторичного полиэтилена: дис. канд. техн. наук : 25.01.88 / Бухкало Светлана Ивановна. – М., 1988. – 150 с.

*Поступила в редколлегию 05.02.12*